

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ НАГРУЗКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

При аварийном отключении одного или нескольких трансформаторов подстанции мощность оставшихся в работе с учетом их перегрузочной способности может оказаться недостаточной для полного удовлетворения потребителей. Единственной мерой в этом случае будет частичное или полное отключение мощности нагрузки. Возникает проблема распределения отключаемой мощности во времени, поскольку ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91) допускает систематические и аварийные перегрузки трансформаторов. При этом объем ограничений зависит от режима работы трансформатора в предшествующий период [1].

Критерием выбора совокупности управляющих воздействий (вектора ограничений нагрузки) $\overline{\Delta S} = \{\Delta S_i, i=1, \dots, T\}$, как правило, принимается минимум суммарного за рассматриваемый период времени ущерба потребителям от недоотпуска электроэнергии при условии ограничения температуры масла $\Theta_m \leq \Theta_{m.don}$ и наиболее нагретой точки (ННТ) $\Theta_{nnt} \leq \Theta_{nnt.don}$.

В общем случае ущерб от недоотпуска электроэнергии выражается нелинейной функцией от отключаемой мощности нагрузки, однако часто представляется линейной (постоянство удельного ущерба)

$$Y = \alpha \sum_{i=1}^T \Delta S_i \quad (1)$$

или квадратичной

$$Y = \alpha \sum_{i=1}^T \Delta S_i^2 / S_i \quad (\text{удельный ущерб пропорционален глубине ограничения на-}$$

грузки) зависимостью [2].

Здесь ΔS_i , S_i — отключаемая мощность и мощность нагрузки на интервале времени i .

Из-за существенной нелинейности функциональной зависимости температуры масла $\Theta_m(\overline{\Delta S})$ и ННТ $\Theta_{nnt}(\overline{\Delta S})$ задача отыскания оптимизирующего вектора $\overline{\Delta S}^*$ относится к классу задач нелинейного программирования с большим числом нелинейных ограничений. Для некоторых частных случаев существует ее аналитическое решение [2]. В частности, при постоянстве удельного ущерба стратегией оптимального ограничения нагрузки является срезание пиковой части суточного графика.

Широкое распространение солверов нелинейного программирования, входящих в состав популярных пакетов, позволяет рассматривать задачу выбора ограничивающих воздействий при аварийных перегрузках трансформатора в обобщенном виде. Для рассматриваемых целей нами был использован солвер Excel, позволяющий реализовать метод Ньютона или сопряженных градиентов.

В качестве целевой функции в тестовых расчетах рассматривался ущерб от недоотпуска электроэнергии в виде (1). Суточные графики температуры масла и ННТ представлялись векторами $\overline{\Theta}_m$ и $\overline{\Theta}_{nnt}$ соответственно. При этом температура масла в момент t определялась рекуррентным соотношением

$$\Theta_{m,t} = \Theta_{m,t-1} + (v_{m,t} + \Theta_{\theta} - \Theta_{m,t-1})(1 - \exp(-\tau_t/T_m)), \quad (2)$$

где Θ_{θ} – расчетная температура воздуха;

τ_t – длительность интервала t ;

T_m – постоянная нагрева масла.

Максимальный перегрев масла, определяемый коэффициентом перегрузки трансформатора $K_t = (S_t - \Delta S_t)/S_{н.мп}$ и коэффициентом потерь в трансформаторе $d = \Delta P_{кз}/\Delta P_{хх}$ определяется выражением

$$v_{m,t} = v_{m,h} [(1 + dK_t^2)/(1 + d)]^x. \quad (3)$$

Температура ННТ превышает температуру масла на величину перегрева ННТ

$$\Theta_{HHT,t} = \Theta_{m,t} + v_{HHT,h} K_t^y,$$

где x, y – показатели степени, определяемые ГОСТ 14209-97.

В результате система ограничений в оптимизационной модели имеет вид

$$\bar{\Theta}_m \leq \Theta_{m,доп} \text{ и } \bar{\Theta}_{HHT} \leq \Theta_{HHT,доп}.$$

В результате тестовых испытаний по модели нелинейного программирования было получено, что на интервале перегрузок оптимальные управляющие воздействия (ограничения нагрузок) стабилизируют температуру масла и ННТ на уровне предельно допустимой. Отсюда в выражении (2) приращение температуры равно нулю, что возможно лишь при условии $v_{m,t} = v_{m,t-1} = \Theta_{m,доп} - \Theta_{\theta}$. Выражение (3) определяет допустимую перегрузку трансформатора, а, следовательно, и величину ограничения нагрузки в каждый момент времени на интервале перегрузок

$$K_t^2 = \left[(1 + d) ((\Theta_{m,доп} - \Theta_{\theta})/v_{m,h})^{1/x} - 1 \right] / d.$$

Выводы:

1. Наличие в современных математических пакетах солверов нелинейного программирования позволяет в общем виде решить задачу определения управляющих воздействий (ограничения нагрузок) на интервалах времени перегрузки трансформаторов.

2. Решение задачи ограничения нагрузки трансформатора методами нелинейного программирования приводит к оптимальной стратегии – постоянство на интервале перегрузки температуры масла и ННТ. Это позволяет получить аналитическое решение.

Список использованных источников

1. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). Утвержден и введен в действие 02.04.2001 взамен ГОСТ 14209-85. – М.: Гос. комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии.
2. Обоскалов В.П. Ограничение нагрузки трансформаторов в аварийных режимах. /Изв. ВУЗов – Энергетика. 1990, №1, с. 58-60.